

СВЕРХВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МИКРОМАШИНЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.И. Бекузин, В.В. Айгузина, Р.Д. Каримов

Научный руководитель: к.т.н. В.Е. Вавилов

Уфимский государственный авиационный технический университет,

Россия, г. Уфа, Карла Маркса 12, корпус 4, 450077

E-mail: tiobaldo1@rambler.ru

Развитие космической отрасли требует создание новых сверхвысокоскоростных электрических микромашин (СВЭМ). Как правило, современные СВЭМ имеют частоту вращения ротора от 200 000 об/мин до 1 000 000 об/мин, мощность до 1 кВт при удельных показателях 0,2–0,25 кг/кВт и выполнены с постоянными магнитами [1–3]. При этом запросы потребителей СВЭМ направлены на повышение мощности и частот вращения ротора СВЭМ при снижении их массогабаритных показателей. Однако на данный момент максимальная достигнутая частота вращения ротора СВЭМ составляет не более 1 млн об/мин [4–7].

Поэтому основной идеей и целью данной работы является разработка и исследования СВЭМ с частотой вращения ротора 1,2 млн об/мин. Для получения данного результата необходимо разработать алгоритм многодисциплинарного расчёта СВЭМ. При проектировании требуется совместный анализ тепловых, механических и электромагнитных процессов с учетом динамики ротора. В работах [4–7] представлены методики расчёта СВЭМ, но общего алгоритма многодисциплинарного подхода к расчёту СВЭМ не приведено. Известны алгоритмы многодисциплинарного проектирования высокооборотных электрических машин с частотами вращения от 48000 до 120 000 об/мин и мощностью более 10 кВт [8–10]. Но требуются частоты вращения ротора и мощности СВЭМ в 10 раз больше, поэтому результаты этих работ использовать не представляется возможным.

В работе представлен многодисциплинарный алгоритм проектирования СВЭМ, создан проект СВЭМ с частотой вращения ротора 1,2 млн об/мин и мощностью 123 Втс КПД 80 %: выполнены взаимосвязанные механические, тепловые и электромагнитные расчеты, определен тип подшипниковых опор, основные конструктивные материалы и выявлено дальнейшее направление исследований. Созданные модели и алгоритм были верифицированы экспериментально. Различие результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных не превышает 5–7 %. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и создании электрических микромашин для электроснабжения космических аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Isomura, M. Murayama, S. Teramoto, K. Hikichi, Y. Endo, S. Togo, S. Tanaka. Experimental Verification of the Feasibility of a 100W Class Micro-scale Gas Turbine at an Impeller Diameter of 10 mm // J. Micromech. Microeng, 200. № 16. С. 254–261.
2. C. H. Park, S. K. Choi, S. Y. Ham. Design and experiment of 400,000 rpm high speed rotor and bearings for 500W class micro gas turbine generator // International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS). 2011. С. 1-4.
3. A. Borisavljevic. Limits, Modeling and Design of High-Speed Permanent Magnet Machines. Wormann Print Service. Zutphen, the Netherlands, 2011, 209 с.
4. C. Zwyssig, J. W. Kolar, S. D. Round. Mega-Speed Drive Systems: Pushing Beyond 1 Million RPM // Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, 2009. Vol. 14. № 5. С. 564-574.
5. C. Zwyssig, S. D. Round, J. W. Kolar. An ultra-high-speed, low power electrical drive system // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008. Vol. 55. №. 2. С. 577-585.
6. D. Krähenbühl, C. Zwyssig, H. Weser, J. W. Kolar. A miniature 500000-r/min electrically driven turbocompressor // IEEE Transactions on Industry Applications, 2010. Vol. 46. № 6. С. 2459-2466.

7. N. Uzhegov, E. Kurvinen, J. Nerg, J. T. Sopanen, S. Shirinskii. Multidisciplinary Design Process of a 6-Slot 2-Pole High-Speed Permanent-Magnet Synchronous Machine // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016. Vol. 63. № 2. C. 784-795.
8. F. R. Ismagilov, I. Khayrullin, V. Vavilov, A. M. Yakupov. Method of Designing High-Speed Generators for the Biogas Plant // International Journal of Renewable Energy Research, 2016. Vol.6. № 2. C. 447-454.
9. Co Huynh, Liping Zheng, Dipjyoti Acharya. Losses in High Speed Permanent Magnet Machines Used in Microturbine Applications // J. of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009. Vol. 131. №. 2. C. 1–6.
10. F. Ismagilov, I. Khairullin, V. Vavilov, R. Karimov, A. Gorbunov. Features of designing high-rpm electromechanical energy converters operating in short-term mode with high-coercivity permanent magnets // International Review of Electrical Engineering, 2016. Vol. 11. № 1. C. 28–35.
11. Ferrites and accessories. SIFERRIT material N87. [Электронный ресурс] URL: <https://en.tdk.eu/download/528882/6a0da25e2745be5c13b587b3d4a8de48/pdf-n87.pdf>.
12. A. Tüysüz, M. Steichen, C. Zwyssig, J. W. Kolar. Advanced cooling concepts for ultra-high-speed machines // 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia, 2015. C. 2194–2202.
13. Zhang Tao, Ye Xiaoting, Zhang Huiping, Jia Hongyun. Strength Design on Permanent Magnet Rotor in High Speed Motor Using Finite Element Method // Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering, 2014. Vol. 12. № 3. C. 1758–1763.
14. Ultra-high-speed set-up. [On-line] URL: http://www.powermems.be/Pen_setup.html.